

# 黒鉱を原料とした人工軽量骨材および 軽量コンクリートに関する実験的研究

庄谷 征美・中 瀧 秀 雄

Experimental studies on the properties of artificial light-weight aggregates of black ore slime and its lightweight concrete

Masami Shoya and Hideo Nakagata

(昭和50年10月31日受理)

## 1. ま え が き

秋田県北部では黒鉱の採掘に伴ない排出される大量の廃さいの処理が問題となり、この鉱さい処理の問題の解決と有効利用を目指して県では軽量骨材化への基礎的研究を進めてきた。現在、試作試験から一步進んで実用化のための試験製造へ移っている段階で、昨今の天然骨材資源の深刻な枯渇化現象に加え、自然保護的立場から骨材採取の規制強化による骨材供給の不足および軽量骨材の需要拡大の様相を考えれば、この人工軽量骨材の工業化の達成によるメリットは相当に大きなものがあると考えられる。

筆者らは、昨年度この軽量骨材を入手する機会を得たので、試作骨材の現時点の品質を明らかにし、今後の品質改善、発展に資する事を目的として実験を行ってきた。本稿では、骨材自身およびこれを用いて製造した軽量コンクリートに関して現在まで得られた実験結果を代表的市販人工軽量骨材のそれらと対比検討し、若干の考察を加え報告することにする。なお、本実験にあたり、上記市販骨材の他川砂利、川砂を使用し、セメントはアサノ普通ポルトランドセメントを使用した。また、本試作軽量骨材を以後 AK 軽量骨材と仮称し論を進めることにする。

## 2. 骨材試験および考察

AK 軽量骨材の原料は、黒鉱を主として、これに適当量の砂および頁岩を混合したものである。これらのスラリー状の混合試料は濃縮、加圧脱水、成形押し出し、造粒、乾燥の過程を経てロータリーキルンで仮焼、本焼の2段階にわけ球状に焼成される。AK 軽量粗骨材は上記のように焼成された各粒径のものを混合し得られ、細骨材は球状骨材を破碎、磨粒しふるい分けた後粒

度調整したもので、前者はいわゆる造粒型粒骨材、後者は一種の破碎型細骨材に分類されると思われる。

AK 軽量骨材の表面は灰褐色を呈し、皮殻は市販軽量骨材のそれよりやや厚く、内部には比較的大きな空隙が多数認められた。

細粗骨材の粒度分布はいずれも土木学会標準粒度の範囲を満足しており、粗粒率は重量で粗骨材6.50、細骨材で2.40~2.50程度となっている。なお粗骨材最大寸法は

表-1

項目	骨材種別 規格および規準	AK 軽 量	N 軽 量	AK 軽 量	M 軽 量
		粗 骨 材	粗 骨 材	細 骨 材	細 骨 材
比 重	粗 骨 材 1.0~1.5 細 骨 材 1.3~1.8	1.30 (1.25)	1.29	1.75 (1.79)	1.67
吸 水 量 (%)	な し	2.45 (5.30)	9.60	5.72 (5.60)	10.3
単 位 容 積 重 量 (kg/m <sup>3</sup> )	な し	820 (804)	809	1040 (1020)	1180
実 積 率 (%)	粗 骨 材 60%以上 細 骨 材 50%以上	63.0	62.5	50.5	54.1
浮 粒 率 (%)	10%以下	0.0	4.20	—	—
洗 い 損 失 量 (%)	な し	—	—	5.52	9.13
有 不 純 物	機 標 準 色 薄 り 薄 い こ と	—	—	合 格	—
安 定 性 減 量 (%)	12%以下	1.2	—	—	—

( ) 内は今年度試料による結果

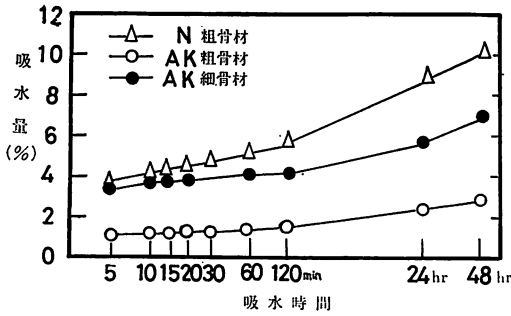


図 - 1

15mmである。

つぎに、AK 軽量骨材の比重、吸水量その他の物理的性質に関する実験結果を表一に示す。表中には市販N 軽量粗骨材およびM 軽量細骨材について求めた結果も併記されている。ここで上記測定法についてふれると、粗骨材の比重、吸水量は一時絶乾状態とした骨材を24時間静水中で吸水させ表面水を拭った状態を表乾として求めた。細骨材の比重、吸水量も同様に24時間吸水させたものを JIS A 1110 の方法に準じてコーンより表乾状態を判定し求めたが、粒形が粗いため状態の判定には困難が伴った。他の物理的性質の試験にあたっては、JIS あるいは土木学会等の規準にしたがってこれを行なった。表一の結果より、AK 細粗骨材は市販骨材と比較

しても吸水量および細骨材実積率を除けば特に大差なく、JIS および土木学会の諸規定をすべて満足する結果となっている。細骨材のモルタル中の実積率は粒形の良し悪しの尺度となり、一般にこの値が50%以下となると粒形が良好といえないようである。AK 細骨材は実積率が50%近くであって、これは破砕骨材であるため砕砂などと同様に粒の形の粗いものが多いことを示し、このままでは表乾状態の作製に困難を生じ、またコンクリートの単位水量増加の好ましからざる状態となるので、今後さらに改善すべき点と考えられる。つぎに骨材の吸水量の小さい理由としては骨材皮殻がいく分厚いこと、骨材内部の空げきが大きく互に独立したものが多いためと推定される。後者は骨材中の飽水率(24時間吸水量/内部空隙率)が10%以下となり、他の軽量骨材の $\frac{1}{3}$ 以下となっている点からも裏づけられる。図一に吸水48時間までの時間～吸水量の関係を示したが、吸水初期においても AK 軽量骨材の吸水は緩慢であり、長期吸水量として50日吸水量を調べると粗骨材で4～5%、細骨材で10～11%であり、なお時間とともに吸水は持続するが、その増加割合は小さく究極の吸水量は市販骨材に比べ細骨材で $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 、粗骨材では $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{3}$ 程度になることが推測される。以上、吸水量に関しては現場使用および管理の点からも有利な性質といえる。

骨材強度を間接的に求めるため、B. S. 法による骨材破砕試験を行なった。図二はこの結果を示したもので、これより破砕値(2.5 mm ふるいを通する破砕骨材の重量比)は作用荷重とともに比例的に増加し、同一荷重に対し、AK 軽量骨材では最大でN 軽量骨材の2倍近くの破砕値を示すことが認められた。一般に市販軽量骨材の10%破砕値は8～14t 程度といわれており、AK 軽量骨材はこの範囲にはあるが下限に近い値を示す。コンクリート強度は骨材の強度に大きく依存しており、高強度コンクリート構造用軽量骨材としての見地からすれば、骨材強度はさらに高い方が望ましい。この点に関しては今後直接的な骨材強度測定等よりさらに明らかにしたい。

以上から、AK 軽量骨材の品質を次章で示される圧縮強度試験結果を含めて JIS A 5002 の品質規準から規定すれば、細骨材では人工軽量骨材 MA-317、粗骨材で MA-317あるいは MA-319 (川砂) と表示されよう。

### 3. 軽量コンクリートの試験および考察

#### 1) 実験概要

本実験においては、AK 軽量コンクリートの諸性質のうち圧縮、引張強度および弾性係数などの力学的特性のほか乾燥収縮、熱拡散率および単位容積重量についても

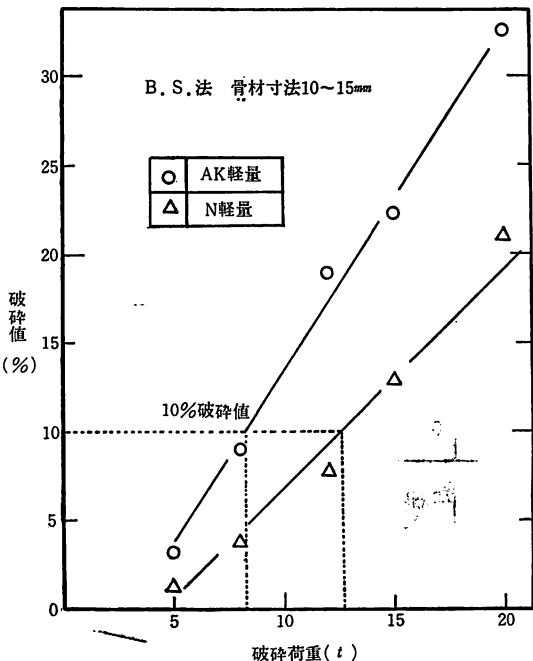


図 - 2

表 一 2

粗骨材	番 号	W/C (%)	スランブ (フロー)	s/a (%)	単 位 量 (Kg/m <sup>3</sup> )			
					W	C	S	G
A K 軽 量	①	40	8.0	40.5	186	465	482*	514
	②	30	3.5	38.2	221	737	507△	422
	③	35	6.5	39.2	212	606	573△	455
	④	40	10.5	39.8	182	454	658△	528
	⑤	50	10.5	41.8	182	363	721△	533
	⑥	60	9.5	43.8	182	303	777△	529
	⑦	70	7.0	45.8	182	259	828△	524
	⑧	55	5.0	43.5	175	318	563*	536
	⑨	55	(154)	—	289	526	932*	—
	⑩	65	16.0	44.8	200	309	769△	591
非 造 粒 型 N 軽 量	⑪	40	7.0	41.0	186	465	502**	512
	⑫	30	0.0	37.8	186	621	660△	470
	⑬	35	5.0	38.8	186	532	693△	492
	⑭	40	7.0	39.8	186	466	716△	509
	⑮	50	7.0	41.8	186	372	749△	541
	⑯	60	7.0	43.8	186	309	772△	557
	⑰	70	6.5	45.8	186	265	787△	569
	⑱	65	14.0	44.8	200	309	769△	600
川 砂 利	⑲	30	0.0	42.8	194	646	625△	839
	⑳	35	0.0	43.8	194	554	672△	864
	㉑	40	5.5	44.8	194	485	710△	876
	㉒	50	11.5	46.8	194	388	781△	889
	㉓	60	12.0	48.8	194	323	840△	881
	㉔	70	8.0	50.8	194	277	893△	866
	㉕	55	6.0	47.8	181	331	836△	922
	㉖	55	(201)	—	283	517	1306△	—
	㉗	65	15.5	45.8	200	309	793△	947

\* AK軽量砂使用

\*\* N軽量砂使用

△ 川砂使用

若干の検討を行なった。

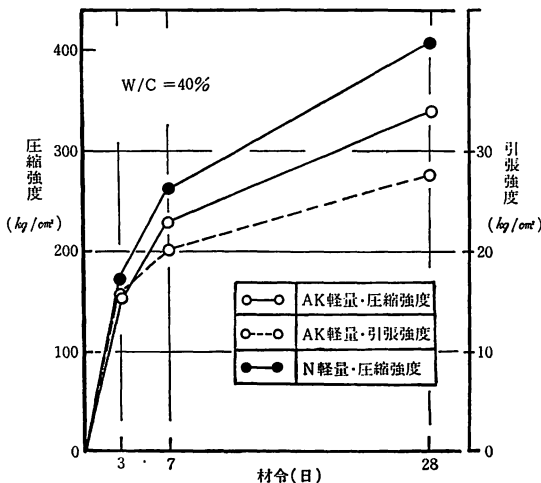
表一に実験で使用した配合を示す。強度試験においては目標スランプ値を8cmとしたが一部の配合では非常に硬練りの場合もあった。表中ではAK軽量、N軽量および川砂利コンクリートの順に配合番号を定めた。このうち、力学的性質を求める試験には配合①～⑦、⑪～⑰、⑲～⑳を用い、乾燥収縮試験には⑩、⑱、㉑を、熱拡散率測定には⑧、⑨、㉒、㉓を使用した。なお、細骨材として用いた川砂は比重2.54、粗粒率2.50のもので、土木学会標準粒度に充分適合するものであった。

コンクリートの練り混ぜには2切可傾式ミキサーを使用し、締固めには内部振動機を使用した。振動締固めにあって骨材粒の浮き上り現象が多く認められたが、振動時間を短くすると豆板を生じ、後者による強度への影響は前者より顕著に現われる事実より判断して、いく分締固め時間を長くしてこれを行なった。

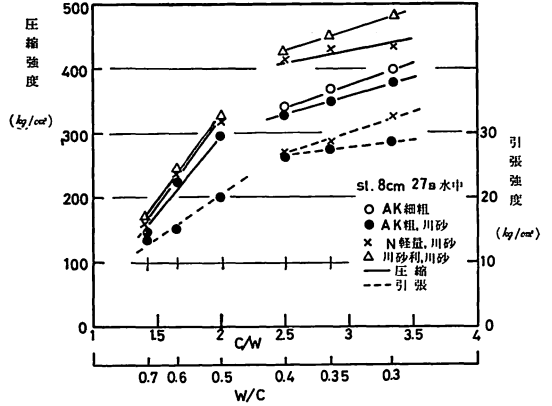
用いた供試体の形状、寸法は力学的性質のうち曲げ強度用を除いたものと熱拡散率測定にはφ10×20cmの円柱供試体を、乾燥収縮および曲げ強度用には15×15×54cmの梁型供試体を用いた。養生は所定期間20±3°Cの水中で行なった。用いた供試体数は同一試験条件に対し2～3個とした。

2) 圧縮強度、引張強度および曲げ強度

AK軽量コンクリートの材令と圧縮強度の関係を調べるため①および⑪の配合における材令3日、7日、28日の圧縮および引張強度を検討した。図一3にこの結果を示す。AK軽量コンクリートの28日圧縮強度は340 kg/cm<sup>2</sup>程度であって、材令3日を1とすれば7日の圧縮強度1.5、引張強度1.2、28日圧縮で2.3、引張で1.7程度



図一3



図一4

であり、市販構造用N軽量コンクリートの値と比較するとほぼ同様の増加率となっている。材令28日以降も圧縮強度の増加率は大きいが実用的な水セメント比の範囲では圧縮強度400 kg/cm<sup>2</sup>以上のコンクリートを作るには仲々困難な点があろうと考えられる。

つぎにセメント水比と材令28日における圧縮強度、引張強度の関係を図一4に示す。AK軽量コンクリートの圧縮強度はセメント水比の増加とともに直線的に増加するが、後者が2.1～2.2程度以上となるとこの強度増加傾向は急変し著しく増加率を減ずる。一般に市販構造用軽量骨材コンクリートの多くはN軽量コンクリートと同じくセメント水比2.5近くにこの急変点が存在する。また、AKコンクリートの破壊面を観察すると上記セメント水比を境に骨材の抜け出し状態より骨材自身の破断が多く見られるようになる。引張強度はセメント水比が2.5以上となると強度増加は鈍り、一定値に近くなる。また、W/C=0.4の圧縮強度は340 kg/cm<sup>2</sup>程度でN軽量コンクリートの410 kg/cm<sup>2</sup>と比べると80%程度の強度しか発現していない。以上の事項と骨材のB.S. 破砕値の結果より判断すれば、AK骨材自身の強度は高強度構造用としていま一步といえようであるが、この点に関しては骨材強度の直接測定などを含めさらに検討したいと考える。

図一5に圧縮強度と引張強度の関係を示す。ぜい度係数(圧縮強度/引張強度)は圧縮強度の増加に伴ない増加する傾向を示し、その絶対値は用いた細骨材の性質により多少異なるがおよそ8～15程度の値を示しており他の人工軽量骨材における実験値と同程度の結果を示した。

AK軽量コンクリートの曲げ強度試験は15×15×54cmの梁型供試体を用い2等分点載荷方式で行なった。その結果の一例を図一6に示す。図中の圧縮強度および引張

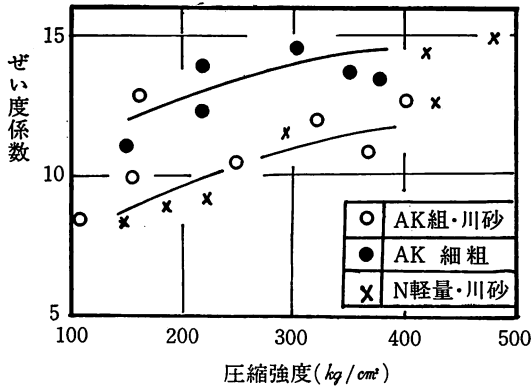


図 - 5

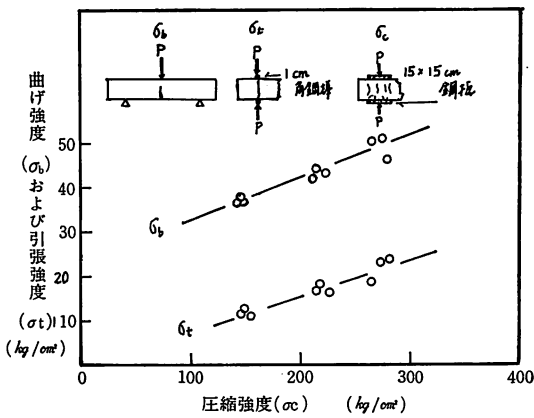


図 - 6

強度は曲げ試験後の切片により求めたもので、これより、曲げ強度は圧縮強度が 300 kg/cm<sup>2</sup> 以内では後者の 1/4~1/6 程度となる。しかし JIS で規定された 3 等分点荷方式では 2 等分点荷方式で求めた強度の 1/1.25 ~ 1/1.35 となることが認められており、これを考慮して AK コンクリートの曲げ強度を補正すれば圧縮強度の 1/6 ~ 1/8 程度となる。これは普通骨材コンクリートに対する値と同程度である。なお、切片で求めた引張強度と曲げ強度の比率は同様に 3 等分点試験値に換算して 1/1.5 ~ 1/2.5 程度の値となり一般の標準値よりいく分小さくなった。

3) 弾性係数およびポアソン比

配合①、④、⑤の円柱供試体において所定材令における応力~歪曲線を電気抵抗線歪ゲージを用いて測定し、圧縮応力度が圧縮強度の 1/3 となる点での割線弾性係数  $E_{1/3\sigma_c}$  およびポアソン比  $\nu_{1/3\sigma_c}$  を算定した。図-7 は各圧縮強度に対する前記=量の関係を示すものである。

昭和51年2月

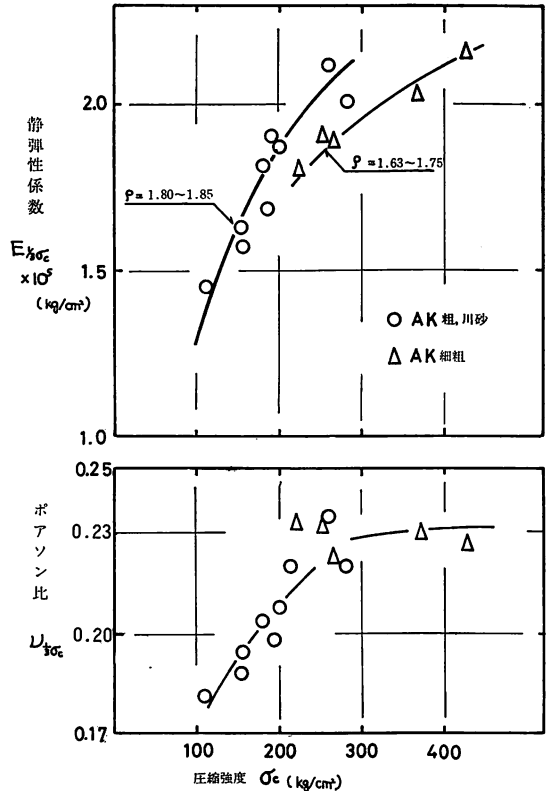


図 - 7

弾性係数はコンクリート強度とともに増加する傾向にあって、コンクリートの比重が異なると値が変化する従来の傾向が明らかに認められ、比重の大きなコンクリートでは弾性係数は大きい。これは用いた細骨材の弾性係数の相違によるものと考えられる。また、圧縮強度が 300 kg/cm<sup>2</sup> の場合の弾性係数は 1.9~2.1 × 10<sup>4</sup> kg/cm<sup>2</sup> で他の軽量コンクリートと同様である。ポアソン比は圧縮強度の増加とともにいく分増加するが、後者が 200 kg/cm<sup>2</sup> 以上となると 0.23 程度の一定値を示すようになる。ポアソン比は普通コンクリートでは 0.15~0.18 程度、市販軽量骨材コンクリートでは 0.2 前後といわれており AK コンクリートのそれはいく分大きめの傾向にあるといえよう。なお、コンクリート圧縮破壊時のたて歪値は 2000~3000 × 10<sup>-6</sup> 程度で普通コンクリートと同程度かやや大きめの値を示した。

4) 乾燥収縮および熱拡散率

AK 軽量コンクリートの乾燥収縮試験の結果を示せば図-8 のとおりである。供試体は材令 1 週まで水中養生した後 R.H.50%、温度 20°C の恒温恒湿室に搬入し、その時点での長さを基長 (200mm) としてコンタクトタイプストレインゲージにより測定を行なったものであ

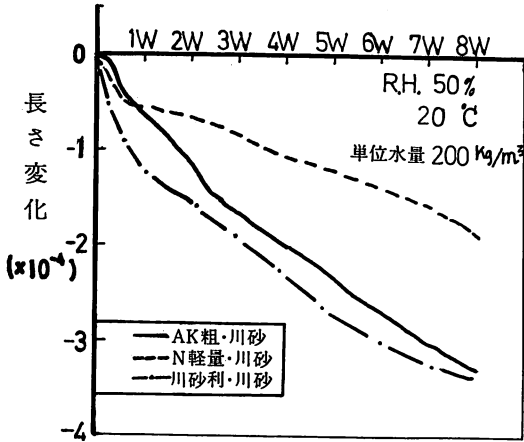


図 — 8

る。これより、AK コンクリートの乾燥収縮による長さ変化は普通コンクリートと同程度の値となることがわかる。この原因としては、AK 軽量骨材の吸水量が小さく骨材中の空隙は独立したものが多いため、乾燥に伴ない骨材からペーストへ供給される水分が少なく、収縮が主にモルタル部分のそれと関連するためと考えられる。長期の測定は行っていないが、最終的には普通コンクリートと同程度以上の長さ変化を示すものと予想される。

つぎに熱拡散率を Glover 法で測定した結果より認められた点は、AK コンクリートの熱拡散率は普通コンクリートの約 $\frac{1}{2}$ となること、細粗骨材自身の熱拡散率は $160 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{hr}$ 程度と評価されること、などであって、これらは他の人工軽量骨材について筆者の一人が行なった実験結果と同程度であることが明らかとなった。

#### 5) コンクリートの単位容積重量

配合①におけるAK 軽量コンクリートの練り上り時の単位容積重量は $1.65 \text{ t/m}^3$ 、配合④で $1.85 \text{ t/m}^3$ 程度である。土木学会の規定値は前者で $1.5 \sim 1.7 \text{ t/m}^3$ 、後者で $1.7 \sim 2.0 \text{ t/m}^3$ であるからいずれもこの規定を満足していることになる。硬化コンクリートでは配合により多少異なるが、本実験の範囲内では軽量砂使用で $1.62 \sim 1.76 \text{ t/m}^3$ 、川砂使用で $1.80 \sim 1.90 \text{ t/m}^3$ 程度となり、軽量コンクリートとして必要な範囲内に入ることが確認された。

#### 4. む す び

限られた範囲内ではあるが、本実験より次のことがいえると思われる。

(1) AK 軽量骨材の品質は各種規定を十分に満足するものであった。その特長は吸水量が市販骨材のそれに比し

細骨材で $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 、粗骨材で $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ と小さい点にあり、これは現場使用上有利な性質と考えられる。また、JIS A 5002の品質基準によれば細骨材は人工軽量骨材 MA—317粗骨材は MA—317あるいは MA—319 (川砂)と表示できる。

(2) AK 軽量コンクリートの圧縮強度は水セメント比60%で $220 \text{ kg/cm}^2$ 、40%で $340 \text{ kg/cm}^2$ 程度となった。引張率は圧縮強度の $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{10}$ 、曲げ強度は $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{8}$ 程度となり他の骨材軽量コンクリートのそれと大差ない。

(3) AK 軽量コンクリートの弾性係数は圧縮強度 $300 \text{ kg/cm}^2$ で $1.9 \sim 2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}$ となり、他の軽量コンクリートの値と同様である。ポアソン比は圧縮強度が $200 \text{ kg/cm}^2$ 以上では0.23程度の一定値をとり一般値よりやや大きめとなった。また、圧縮破壊時のたて歪度は $2000 \sim 3000 \times 10^{-6}$ であった。

(4) AK 軽量コンクリートの乾燥収縮は普通コンクリートと同程度である。熱拡散率は普通コンクリートの約 $\frac{1}{2}$ で一般の軽量コンクリートと同様といえる。

(5) JIS A5002で示されるコンクリート練り上り時の単位容積重量は細粗ともAK 軽量骨材を使用した場合で $1.65 \text{ t/m}^3$ 程度となり、土木学会の規準を満足する。

以上、AK 軽量骨材についてはコンクリートとしての耐久性、クリープ等はまだ検討せねばならない事項は多く簡単には断を下せないが、本実験の範囲内ではこの骨材は十分使用に供しうる品質を持つものと結論できる。

#### 謝 辞

本研究を行なうにあたり実験に多くの努力を払われた現電々公社鑑松夫、千葉県庁小林喜三雄の両君に感謝の意を表します。また、試料の提供を頂いた秋田県パイプ流送鉱業公社に対し厚く御礼申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 軽量骨材コンクリートハンドブック編集委員会編、軽量骨材コンクリートハンドブック、日刊工業社
- 2) 土木学会コンクリートライブラリー、10号(昭和39年)、24号(昭和44年)、土木学会。
- 3) 松野一喜；黒鉱スライムの人工軽量骨材化の研究ならびに企業化計画、昭和49年度日本鉱業会秋季分科研究会。
- 4) 庄谷征美、中瀧秀雄；鉱さいを利用した人工軽量骨材の性質について、昭和50年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要